我国空间科学卫星任务国际合作管理实践与思考

——以中国科学院空间科学战略性先导科技专项为例

王 赤* 李 超 孙丽琳

中国科学院国家空间科学中心 北京 100190

摘要 国际合作是空间科学发展的客观需要，也是我国走近世界空间科学舞台中央的必由之路。中国科学院空间科学战略性先导科技专项（以下简称“空间科学先导专项”）的空间科学卫星系列任务在全生命周期的创新发展链条上开展了全面、广泛、全方位、多层次的实质性国际合作，合作伙伴涉及欧洲空间局、欧洲主要航天国家，以及美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、日本、新加坡等。空间科学先导专项通过建立双边战略研讨机制、共建国际研究机构，促进国际交流与合作，深化任务的国际论证，以及优选先进的科学探测仪器，确保科学目标的原创性和重大性。通过加强合作任务的工程管理和科学管理，实行“项目双首席科学家”和“载荷科学家”模式，促进重大成果产出。文章梳理了空间科学卫星系列任务的国际合作情况，重点阐述对不同层级国际合作的管理实践，对事关国际合作成败的常见问题进行思考并提出了对策建议，力求为后续国际合作任务管理提供重要参考。

关键词 空间科学，空间科学先导专项，空间科学卫星，国际合作，首席科学家

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20200412001

科技创新国际化是一个国家或研究机构积极参与全球科技合作与竞争，共同应对国际科技问题与挑战，有效利用全球科技资源，加速提升自身创新能力的过程[1]；是促进产业融合、增进人文交流、推动合作共赢的重要动能，成为新时代“一带一路”的闪亮新名片[2]。

探索浩瀚宇宙，和平利用太空，是全人类的共同梦想。随着各国经济的发展和技术的长足进步，参与空间科学探测的国家逐渐增多，空间科学探测的深度和广度不断扩大，已进入全面发展的新时代，趋向多

*通讯作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（XDA15000000）
修改稿收到日期：2020年6月29日

元化，国际合作已成为空间科学探测领域的重要特点和趋势。1997 年 10 月发射的“卡西尼-惠更斯”土星探测器，由美国国家航空航天局（NASA）、欧洲空间局（ESA）和意大利空间局联合实施，全球 27 个国家的 5 000 余名科学家和工程师参与该项探测计划，是人类进入空间时代以来最激动人心的大型国际合作课题之一，并产出了重大成果[3]；NASA 与 ESA 联合实施的哈勃太空望远镜（HST）、中国航天局与 ESA 联合实施的“地球空间双星探测计划”（以下简称“双星计划”），以及“双星计划”与“星簇计划”（Cluster）协同开展的“六点联合探测”[4]等均取得了重大成果。空间科学研究的问题大多是全人类共同面临和关注的共性问题，其学科特点及科学发现、经费投入和科学产出需求决定了国际合作是空间科学发展的客观需要[5]，也是我国走近世界空间科学舞台中央的必由之路。

中国科学院（简称“中科院”）空间科学战略性先导科技专项（以下简称“空间科学先导专项”）使我国空间科学任务第一次有了系统性的支持计划[6]，其中的每项任务都包含了重要的国际合作元素。空间科学先导专项的总目标是：在最具优势和最具重大科学发现潜力的科学热点领域，通过实施自主和国际合作科学卫星计划，实现科学上的重大创新突破，带动相关高技术的跨越式发展，发挥空间科学在国家发展中的重要战略作用。该专项瞄准宇宙和生命起源与演化、太阳系与人类关系两大重要科学前沿，部署实施的暗物质粒子探测卫星（“悟空”）、实践十号返回式科学实验卫星（“实践十号”）、量子科学实验卫星（“墨子”）、硬 X 射线调制望远镜卫星（“慧眼”）和微重力技术实验卫星（“太极一号”）任务已“五发五捷”，并已产出重大科学成果；正在实施的引力波暴高能电磁对应体全天监测器卫星（GECAM）、先进天基太阳天文台卫星（ASO-S）、爱因斯坦探针卫星（EP）和太阳风—磁层相互作用全景成像卫星（SMILE）等任务[7]进展顺利；而这些任务中都包含了重要的国际合作元素。

作为空间科学先导专项及其科学卫星系列任务的总体依托单位（以下简称“专项总体”），中科院国家空间科学中心（以下简称“空间中心”）在重大任务国际合作方面积累了宝贵经验。本文简要梳理了空间科学先导专项系列卫星任务（以下统称“空间科学卫星任务”）的国际合作情况，重点阐述了对不同层次国际合作的管理实践，对相关工作进行了思考并对事关成败的常见问题提出了对策建议，力求为后续国际合作任务管理提供重要参考。

1 我国空间科学卫星任务开展了全面、广泛、全方位、多层次的国际合作

空间科学卫星任务国际合作的全面性体现在 9 项卫星任务均包含重要国际合作元素；广泛性体现在不仅与 ESA 及欧洲的意大利、德国、英国、奥地利、瑞士、法国、西班牙等国家开展合作，同时与美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、日本、新加坡等国家开展合作；全方位体现在卫星任务全生命周期（从战略规划、预先研究、背景型号、立项论证与工程研制，直至在轨运行、科学产出）都有合作；多层次体现在合作涉及载荷层（研制、定标）、研究/实验层和整个任务层（从任务策划、提出、研制、发射、运行到科学产出的深度合作）等多个层次（表 1）。

2 我国空间科学卫星任务国际合作的管理实践

空间科学先导专项通过建立双边战略研讨机制，共建国际研究机构，促进国际交流与实质性合作，深化任务的国际论证，确保任务科学目标的原创性和重大性。对于载荷层和研究层合作，通过载荷研制团队定期协调机制推进工程研制，通过科学团队“载荷科学家”模式促进成果产出；对于任务层深度合作，通

表 1　空间科学卫星任务国际合作简况

科学任务	载荷层	任务层	研究/实验层
“悟空”	与瑞士、意大利联合开展硅阵列探测器（STK）载荷研制；与瑞士联合开展锗酸铋（BGO）量能器定标[8,9]	/	与瑞士、意大利等国联合开展探测结果研究[10]
“实践十号”	与ESA联合开展微重力条件下石油组分热扩散特性的研究和 Soret 系数测量载荷的研制[11]	/	与ESA联合完成石油组分热扩散系数的测量；与日本联合开展空间熔体材料科学实验[12]
“墨子”	/	/	与奥地利、意大利、西班牙、俄罗斯、德国、加拿大等国联合开展星地量子秘钥分发及应用[13]；与美国、澳大利亚等国合作，对量子退相干的理论模型进行实验检验；与英国、瑞士等国联合开展量子实验[14,15]
“慧眼”	与德国联合开展中能探测器（ME）和低能探测器（LE）载荷定标[16,17]	/	与美国、欧洲主要航天国家、巴西、印度、韩国、日本、俄罗斯等 30 多个国家联合开展引力波探测[18]；与英国、德国、意大利、法国等联合开展空间天文探测和研究
“太极一号”	与新加坡联合开展霍尔微推进器（HEM-JET）载荷研制	/	与新加坡联合开展 HEM-JET 载荷数据分析研究
GECAM	/	/	拟与美国、欧洲、日本、澳大利亚等国家和地区联合开展观测和数据分析
ASO-S	与意大利联合开展莱曼阿尔法太阳望远镜（LST）载荷定标	/	与意大利联合开展 LST 载荷数据分析研究
EP	与ESA、德国联合开展后随X射线望远镜（FXT）载荷研制	/	与 ESA、德国联合开展 FXT 载荷数据分析研究
SMILE	与ESA联合开展软X射线成像仪（SXI）、极紫外成像仪（UVI）、低能粒子分析仪（LIA）载荷研制和定标	与ESA共同策划、征集、遴选并开展方案设计、工程研制及数据分析与利用[19]	与ESA及英国、加拿大、荷兰、西班牙、德国、意大利、挪威、芬兰、瑞士、法国等国联合开展数据分析研究和成果产出；NASA 及其他 10 余个国家共同参与数据分析研究[20]

过工程团队推进工程研制，通过科学团队“项目双首席科学家”模式促进产出最大化。

2.1 建立双边战略研讨机制，促进国际交流与实质性合作

（1）与世界主要航天组织和国家建立双边研讨机制，孕育重大合作。① 与 ESA 建立每年一次的常态化双边研讨机制，为中欧双方科学家在空间科学领域的交流提供良好平台。该平台直接催化了中欧空间科学联合卫星任务 SMILE 等的合作；目前，中欧双方均有兴趣在空间引力波探测领域探讨合作的可能。② 与瑞士、意大利、法国、巴西、葡萄牙等国建立双边研讨机制，加强双方在空间科学领域开展实质性合作，达成初步合作意愿及共识。③ 与俄罗斯建立双边研讨机制，拟在空间科学卫星任务设计、仪器研发、载荷搭载、仪器定标、科学数据分析等方面开展全面合作[21]。④ 与亚洲国家每 2 年召开 1 次微重力科学研讨会，促进中国与日本、韩国和印度等国在微重力科学与应用研究领域的交流和合作。

（2）与美国科学家保持沟通交流，开拓合作新渠道。中国和美国在官方层面的空间合作虽尚未开展，但科学家层面的沟通交流从未间断[22]。中科院与美国科学院共同发起的“中美空间科学青年领军人物论坛”每年召开 1 次，至 2019 年底已召开了10 届。该论坛就空间物理和空间天文领域的科学前沿问题进行研

讨，为中美优秀青年科学家搭建交流平台，开拓中美空间科学领域合作的新渠道。

（3）充分利用国际交流平台，发出中国声音。 国际空间研究委员会（COSPAR）是国际上空间研究领域的最高学术组织。自1993年中国正式成为该组织成员以来，中国科学家在COSPAR中扮演越来越重要的角色，并且更多地参与空间科学与探测的国际合作和协调活动。空间科学先导专项（一期）负责人吴季研究员为COSPAR委员会副主席（2010年7月—2018年7月），空间科学先导专项（二期）负责人王赤院士为COSPAR委员会执行局委员（2018年7月至今）；此外，空间中心是COSPAR中国委员会（CNCOSPAR）的挂靠单位。专项总体充分利用COSPAR这一重要平台，促进中国空间科学界与世界科学团体在卫星和空间探测器研究方面的交流与合作，推进中国空间科学事业的跨越发展。

2.2 共建国际空间科学研究机构，深化国际论证，确保科学目标的原创性和重大性

（1）共建国际空间科学研究所北京分部，为空间科学战略规划和前瞻布局打下良好基础。 空间中心与位于瑞士伯尔尼的国际空间科学研究所（ISSI）共建国际空间科学研究所北京分部（ISSI-BJ）。ISSI-BJ是ISSI目前设立的唯一分支机构，与ISSI共享相同的国际空间科学委员会资源、相同的研究工具，与国际空间科学界保持紧密联系[23]。ISSI-BJ为中国空间科学领域开展国际化水平研究提供了重要平台，成为中国空间科学界了解国际最新科学前沿，以及国际空间科学界了解中国空间科学发展的重要窗口，为空间科学战略规划和前瞻布局打下良好基础。ISSI-BJ吸引了国际空间科学界广泛参与，各国科学家通过国际论坛、研讨会、专题会议、工作组和科学团队等形式并肩合作，研究和解决新的科学问题，设计未来的科学任务，实现激动人心的设想[24]。自2013年7月成立以来至2019年底，ISSI-BJ组织召开了20次国际论坛，吸引了38个国际合作团队，来自世界50多个国家的科学家在此合作进行空间科学研究。

（2）深化预先研究和背景型号任务国际论证，确保科学目标的原创性和重大性。 ISSI-BJ针对空间科学预先研究、背景型号任务组织国际论坛，邀请国际相关领域活跃在科学研究前沿的科学家对候选计划的科学目标、技术需求和国际合作前景进行研讨和国际咨询论证[22]，听取国际空间科学界的意见和建议，进一步凝练科学目标，提升任务目标的原创性和重大性。ISSI-BJ开展了空间科学不同学科领域、不同专题的研讨工作，在空间科学领域发展规划、任务概念与关键技术、科学探测仪器优选，以及科学数据与应用等方面取得重要成果[23]。正在实施的ASO-S、EP和SMILE卫星任务在背景型号阶段均经过了ISSI-BJ组织的国际咨询论证。

2.3 对于载荷层和研究层合作，通过载荷研制团队定期协调机制推进工程研制，通过科学团队“载荷科学家”模式促进成果产出

（1）联合成立载荷研制团队，通过定期协调机制推进工程研制。①对EP卫星后随X射线望远镜（FXT）载荷合作研制的管理。 中科院、ESA、德国马普地外物理研究所（MPE）联合成立载荷研制团队，三方通过联合签署合作协议、共同参与合作载荷的重要节点评审、定期召开三方工作会等，推进载荷研制。*②“悟空”卫星硅阵列探测器（STK）载荷合作研制的管理。* 因合作任务在方案阶段后期才开始，初样阶段将STK纳入了“短线”项目管理，实时掌握工程进度，要求合作方按照工程进度开展研制工作。正样阶段，在2015年1—3月，中国、瑞士、意大利每周召开三方视频会议，掌握细节，并根据进度需要，决定将STK正样环境试验全部在中国完成；督促载荷任务总体单位加强人力物力保证，确保STK按时回国完成正样产品交付；提前筹划STK进出关相关事宜。

（2）联合成立科学团队，实行“载荷科学家”模式，促进成果产出。① “悟空”、“实践十号”、EP和ASO-S卫星等，由合作各方联合成立科学团队，负责探测数据的分析研究和成果产出。科学团队定期组织会议，交流研讨各自研究进展，以促进成果产出。例如，由中国、瑞士、意大利三国的科学家组成的“悟空”科学团队正在努力分析数据，希望能够早日发现暗物质的踪迹[9]。② 针对合作研制的载荷，实行“载荷科学家”模式。经费和人力投入比重较大的一方设立“载荷科学家”（载荷PI），另一方则设立“载荷共同科学家”（载荷Co-PI）。载荷PI相当于项目首席科学家助理，起到科学家与工程技术人员之间的桥梁纽带作用，在有效载荷设计上实现科学家的思想，并协调载荷研制团队开展产品研制；与载荷研制单位共同开展有效载荷系统顶层设计，深度参与载荷研制、测试及在轨运行；促进科学与技术的有机融合和成果产出[25]。

2.4 对于任务层深度合作，通过工程团队推进工程研制，通过科学工作队“项目双首席科学家”模式促进产出最大化

（1）联合成立任务指导委员会，指导双方工程团队推进工程研制。双方联合成立任务指导委员会，作为任务最高决策机构。任务指导委员会由两国政府机构代表、研究所管理机构代表组成，主要负责协调、监督工程重大管理和经费事项，对工程关键节点进行评审，并对任务进行指导。此外，双方分别成立工程团队和载荷研制团队，按照各自的航天规范完成各自任务的研制和管理。双方分别设立项目经理，负责推动工程实施和执行，并作为双方项目层面的对接联系人。在项目经理层解决不了的问题，可提交至联合指导委员会解决。例如，在SMILE任务中，通过联合组织重大会议、联合开展“里程碑”节点评审、定期举行工程联合会议（每年2次）等机制，并充分利用双周视频协调会机制，保证中欧双方之间沟通顺畅、协调及时、信息畅通，有效解决双方研制中可能存在的问题。

（2）联合成立科学工作队，实行“项目双首席科学家”模式，促进产出最大化。双方联合成立科学工作队，在中欧双方的贡献大致均等的情况下（如SMILE任务），双方分别设置项目首席科学家岗位，实行“项目双首席科学家”模式。首席科学家负责科学目标相关事宜，解决科学问题，开展学术交流，实现任务科学性能的最大化。项目首席科学家不仅是科学目标的提出者，而且是后续科学研究的实践者和组织者，对科学任务的成败具有决定性的作用[6]。首席科学家在立项论证阶段，牵头组织设立科学目标和有效载荷配置；在工程实施阶段，对影响科学性能的技术事务提出建议，监视实施状态、仪器运行准备情况，以及数据处理基础设施情况；在运行和应用阶段，牵头组织科学数据分析和应用，协调科学团队，发挥群体作用，确保重大科学产出[26,27]。科学工作队代表双方的科学团队，由项目首席科学家联合主持科学工作队并协调科学团队的活动。科学工作队中包括载荷PI、载荷Co-PI，并建立模型工作组、数据格式工作组和载荷定标工作组等。模型工作组开展相关模型研究，为后续科学数据应用做好前期理论工作；数据格式工作组和载荷定标工作组，对载荷各级数据产品的数据格式进行统一，关注载荷实验室定标以及在轨定标，实现科学数据定量化。科学工作队和各工作组定期组织联合大会，交流研讨各自工作进展，促进产出最大化。

3 关于我国空间科学卫星任务国际合作的思考和建议

空间科学卫星任务开展了全面、广泛、全方位、多层次的实质性国际合作，表明我国空间科学实力得到国际社会的广泛认可，提升了我国在国际空间界的地位和话语权；同时，通过引入具有先进水平的科学

载荷，提高了空间科学探测的能力。但是，由于国内外管理链条拉长，技术、质量、进度的不确定因素显著增加，导致项目技术和管理的复杂性增加，对任务实施和决策带来挑战。为了确保国际合作项目成功和重大成果产出，针对国际政治、经济、文化等领域事关成败的常见问题，提出5个方面的对策建议。

3.1 针对国际政治形势的影响，抓住机遇，重视风险，打造备胎

21世纪初，中国的国际空间合作面临的挑战和机遇并存。中国作为崛起中的太空大国有能力也有需要进行国际合作。2000年《中国的航天》白皮书[28]明确表明中国航天在新世纪将积极开展国际合作，在平等互利、取长补短、共同发展的基础上，和平开发和利用空间资源，为人类谋取福利。与ESA"双星计划"合作的成功，让中国在国际空间科学领域有了一席之地，展示了中国的实力和水平，坚定了中欧空间合作的信心和决心。之后，中国月球探测任务的实施，中欧双方开展了紧密合作。然而，意识形态、国际关系仍然是影响国际合作的重要因素。1999年，美国抛出的《考克斯报告》认为中国空间事业的进步"窃取"了美国的航空航天技术[29]。此后，中美双方基本没有空间领域实质性的合作。特别是近几年来，美国基于一贯的霸权思维，认为中国的太空进步给美国国家安全带来了挑战与威胁[30]，在中美双边及多边组织中封堵中国，使中国与其他西方国家的合作也面临严峻挑战。

针对国际政治形势的影响，我们应继续坚持创新发展，提高自主创新能力，在平等互利、和平利用、共同发展原则基础上，多方位拓展国际交流与合作。在空间科学方面，应当考虑：① 加强与包括俄罗斯在内的欧洲国家或组织的交流和合作。② 对美国及其盟友国家，可在科学研究或科学实验方面积极推进与其科学家、科研机构或社会团体等民间渠道的交流和合作。③ 对已开展的国际合作卫星任务，明确提出不使用《国际武器贸易条例》（ITAR）清单中的元器件。此外，在积极推动国际合作的同时，中方需做好关键领域核心技术的国内积累与准备，提升国内相关产品的研发能力，必要时开放合作和自主研发"两条腿走路"，打造备胎，避免影响工程进度和成功。④ 加强与发展中国家的交流和合作。

3.2 针对国际经济形势的影响，充分评估风险，探索可行途径

受国际经济形势的影响，国际合作任务能否立项及立项后能否顺利实施等具有较大的不确定性，应充分评估风险的可承受性。目前，空间科学先导专项（一期）的重大国际合作项目"夸父计划"由于国外的财政紧缩和财政危机等国际金融形势的变化，一直未能落实国际合作经费渠道和合作伙伴，仍处于"暂缓执行"状态[31,32]。遇到类似情况时，如何在不改变当初确定的科学目标的前提下继续坚持实施，仍需各方探索可行的途径。

3.3 针对体制、机制、文化、语言等差异问题，增强相互理解和信任

每个国家都有自己独特的意识形态，航天工程研制的理念、对待工作和生活的态度都有重大的差异。中国航天的一些传统做法（如火箭发射段建立卫星工程参数返回通道等），欧方觉得没有必要；欧方在从科学目标到任务需求方面有严格的论证和非常具体的技术指标要求，而中方在这些方面要求的规范性和科学性有待加强；中方科研人员为赶工程进度加班加点是常事，而欧方科研人员则更注重家庭和生活，很少加班赶进度；对于工程余量的掌握，双方也有分歧。越是有差异，有分歧，就越要公开透明，开诚布公，换位思考；此外，还要提高英语交流能力，准确表达和沟通，消除顾虑和障碍，增进相互理解和信任，这是确保国际合作成功的基石。

3.4 针对合作双方研制流程不统一问题，加强进度风险管控

例如，在SMILE任务中，欧方的研制流程采用

欧方标准进行，其与中方常规的研制流程存在较大差异。双方在试验、测试的计划流程及技术状态确定时间上存在不对等，导致整体研制进度存在风险。建议做好 3 点防控：① 就双方研制流程的差异，针对性地设计整星的技术流程和计划流程，梳理出关键节点，并经中欧双方确认。研制过程中，双方按照关键节点控制各自的研制进度。② 形成系统的计划流程体系，对影响进度的风险成立风险管理小组，制定专题计划，作为关键“短线”项目进行控制，实施“短线”管理。③ 建立并严格执行定期调度会制度，随时了解、协调研制过程中的问题。若出现对实施计划的重大影响，必须报告对方并及时解决，确保研制进度。

3.5 针对双方接口匹配问题，及时沟通协调并做好文件控制

国际合作任务涉及多国之间的沟通协调，文件翻译和语言障碍可能会导致各类问题的发生。例如，2019 年 7 月13日，俄罗斯和德国联合研制的“光谱-伦琴-伽马”（Spektr-RG）卫星成功发射，但在任务研制过程中，曾由于沟通协调不畅，导致控制软件和无线电系统与仪器的不匹配并致使测试工作停滞，影响了研制周期和成本[33]。中国空间科学卫星任务同样涉及与多个国家和组织的合作，接口管理复杂。尤其是 SMILE 任务，接口涉及卫星与运载、卫星与地面段（发射场系统、地面支撑系统、测控系统、科学应用系统）、地面段内部各系统之间、卫星平台和载荷舱、载荷舱和载荷之间等各种接口。为了确保彼此接口的匹配，需做好 3 点：① 联合制定、细化、签署并实施接口文件，明确任务基线和任务接口，固化技术条件、试验流程等，确保双方界面完整、明晰。② 确保接口控制、安装集成测试及飞行试验文件等翻译及时准确，尤其是文件变更时，务必双方同步更新并做好版本控制。③ 保持双方沟通密切顺畅，实时关注对方研制进度和接口变化。

4 结语

探索浩瀚宇宙是全人类的共同梦想，空间科学是自主发展和开放合作的有机结合体，是重要的国际合作领域。中国国家友谊奖获得者 Roger M. Bonnet[24]曾指出，“国际合作对空间科学的作用是怎么强调都不过分的，对空间科学是绝对必要的”。通过国际合作，可吸纳国际力量，拓展研究领域，丰富研究内容，提升自主研发能力，提升我国在空间科学领域的国际地位和话语权，推动空间科学事业的发展。中国空间科学技术虽取得了长足进步，但与世界主要航天大国还有较大差距，仍需继续加强国际合作，取长补短，互利共赢，促进中国空间科学事业的长期可持续发展，促进人类更好地携手探索和利用太空。

参考文献

1 白春礼. 加快科技创新国际化步伐. 求是, 2013, (10): 39-40.

2 魏艳, 郑新钰. 科技创新合作成为“一带一路”闪亮新名片. [2019-04-25]. http://world.people.com.cn/n1/2019/0425/c1002-31050539.html.

3 NASA. The Saturn System Through the Eyes of Cassini. [2017-09-13]. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/the_saturn_system.pdf.

4 Liu Z X, Escoubet C P, Pu Z Y, et al. The Double Star mission. Annales Geophysicae, 2005, 23(8): 2707-2712.

5 吴季. 空间科学任务及其特点综述. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139-146.

6 相里斌. 发展空间科学 建设航天强国. 中国科学报, 2018-07-06(01).

7 空间先导二期启动 五年将发4颗科学卫星. [2018-07-04]. http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2018/7/415163.shtm.

8 Chang J, Ambrosi G, An Q, et al. The DArk Matter Particle Explorer mission. Astroparticle Physics, 2017, 95: 6-24.

9 常进, 范一中. 悟空号：暗物质粒子的探索者. 科学, 2018, 70(3): 18-20.

10 许鑫. 依托大科学设施群推进国际科技合作. 科学发展, 2019, (7): 5-14.

11 康琦, 胡文瑞. 微重力科学实验卫星——“实践十号”. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 574-580.

12 孙秋霞. 实践十号：向空间强国迈进. 中国科技奖励, 2016, (5): 10-12.

13 张志会, 马连轶. “墨子号”量子科学实验卫星大科学工程的历史与管理模式探究. 中国科技论坛, 2018, (11): 1-8.

14 Xu P, Ma Y Q, Ren J G, et al. Satellite testing of a gravitationally induced quantum decoherence model. Science, 2019, 366: 132-135.

15 张晓. 潘建伟与第一颗量子卫星. 国际人才交流, 2017, (1): 20-21.

16 卢方军. “慧眼”硬X射线调制望远镜的探测技术和科学运行. 国际太空, 2017, (6): 7-13.

17 卢方军, 张双南. 硬X射线调制望远镜——中国第一颗X射线天文卫星. 物理, 2017, 46(6): 341-347.

18 Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et.al. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger. The Astrophysical Journal Letters, 848: L12.

19 王赤, 李自杰, 孙天然, 等. “太阳风-磁层相互作用全景成像”卫星任务概况. 国际太空, 2017, (8): 13-16.

20 地球空间“微笑”计划正式启动工程研制. [2019-02-23]. http://www.cas.cn/yx/201903/t20190322_4686218.shtml.

21 唐琳. 深化国际合作 实现空间共赢. 科学新闻, 2015, (18): 51-55.

22 唐琳. 深化国际合作 携手探索宇宙. 科学新闻, 2018, (9): 85-90.

23 ISSI-BJ. ISSI-BJ Mission statement. [2013-01-23]. http://www.issibj.ac.cn/About_us/Mission/ 201301/t20130123_98464.html.

24 《中国科学院院刊》编辑部. 中国空间科学在世界空间研究中的地位——欧空局前副局长Roger-Maurice Bonnet专访. 中国科学院院刊, 2015, 30(6): 751-759.

25 李超, 韦飞. 中国空间科学任务有效载荷管理实践与思考. 科技导报, 2020, 38(15): 37-44.

26 吴季. 科技卫星引领原创突破. 光明日报, 2016-06-17(10) .

27 李超, 郑耀昕. 我国空间科学任务“四个科学”特点及管理实践——以中国科学院空间科学战略性先导科技专项为例. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 763-770.

28 郭宝柱. 中国航天发展的里程碑——《中国的航天》白皮书. 中国航天, 2007, (5): 3-6.

29 刘禹希. 美国对华航空航天技术出口管制政策体系研究. 合肥: 中国科学技术大学, 2019.

30 何奇松. 中国太空崛起与中美太空关系. 美国问题研究, 2016, (2): 37-57.

31 倪思洁. “夸父”追日 梦圆何时 “夸父计划”启动10年仍“暂缓执行”. 中国科学报, 2014-10-23(01).

32 中国科学院空间科学战略性先导科技专项研究团队. 空间科学战略性先导科技专项引领中国空间科学发展. 国际太空, 2015, (1): 13-21.

33 王帅, 刘思萌. 俄德联合X射线天文观测任务研究. 国际太空, 2019, (8): 37-41.

International Cooperation Management Practice of Space Science Missions in China and Related Thinkings

—Case Study on Strategic Priority Research Program on Space Science of the Chinese Academy of Sciences

WANG Chi* LI Chao SUN Lilin

(National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract International cooperation is an objective need for space science development, and also a necessary path for China to approach the stage center of the world space science. The scientific mission series under China's Strategic Priority Program on Space Science (SPP) involve comprehensive, extensive, all-round, and multi-level international cooperation in the whole life cycle of mission innovation chain. International cooperation partners include ESA and major European space countries, as well as the United States, Russia, Canada, Australia, Japan, Singapore, etc. To ensure the originality and significance of the scientific objectives of the SPP missions, a swath of measures have been applied, including establishing bilateral meeting mechanism, co-establishing international research institutions, promoting international exchanges and cooperation, deepening the mission international study, and optimizing the advanced detection payloads configuration. To facilitate the output of high impact scientific achievements, the engineering management and science management of the cooperative missions are strengthened by implementing the mechanism of Co-Principal Investigators both at the mission level and the payload level. This paper reviews the international cooperation activities and management practice of the Chinese space science missions, and offers some suggestions for the future work, in a bid to provide reference for the follow-up management of international cooperation missions.

Keywords space science, Strategic Priority Program on Space Science, space science satellite, international cooperation, principal investigator



王 赤 中国科学院院士。中国科学院国家空间科学中心主任、研究员、博士生导师。中国科学院空间科学（二期）战略性先导科技专项负责人，SMILE卫星任务首席科学家兼工程副总指挥。主要从事空间物理和空间天气研究。E-mail: cw@nssc.ac.cn

WANG Chi Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS). Director General of National Space Science Center, CAS, Research Professor, Doctoral Supervisor. He is Director of CAS Strategic Priority Research Program (SPP II) on Space Science, Principal Investigator, and Deputy Mission Commander of SMILE mission. His main research interest covers space physics and space weather research.

E-mail: cw@nssc.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author

参考文献（双语版）

1 白春礼. 加快科技创新国际化步伐. 求是, 2013, (10): 39-40.

Bai C L. Accelerate the internationalization of scientific and technological innovation. Qiushi, 2013, (10): 39-40. (in Chinese)

2 魏艳, 郑新钰. 科技创新合作成为“一带一路”闪亮新名片. [2019-04-25]. http://world.people.com.cn/n1/2019/0425/c1002-31050539.html.

Wei Y, Zheng X Y. Scientific and technological innovation becomes a bright card of the Belt and Road initiative. [2019-04-25]. http://world.people.com.cn/n1/2019/0425/c1002-31050539.html. (in Chinese)

3 NASA. The saturn system through the eyes of Cassini. [2017-09-13]. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/the_saturn_system.pdf.

4 Liu Z X, Escoubet C P, Pu Z Y, et al. The double star mission. Annales Geophysicae, 2005, 23(8): 2707-2712.

5 吴季. 空间科学任务及其特点综述. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139-146.

Wu J. Characteristics and managements of space science missions. Chinese Journal of Space Science, 2018, 38(2): 139-146. (in Chinese)

6 相里斌. 发展空间科学 建设航天强国. 中国科学报, 2018-07-06(01).

Xiang L B. Develop space science and build a great country in aerospace. China Science Daily, 2018-07-06(01). (in Chinese)

7 空间先导二期启动 五年将发4颗科学卫星. [2018-07-04]. http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2018/7/415163.shtm.

CAS initiates the second phase Strategic Priority Research Program for space science and plans to launch four scientific satellites in five years. [2018-07-04]. http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2018/7/415163.shtm. (in Chinese)

8 Chang J, Ambrosi G, An Q, et al. The DArk Matter Particle Explorer mission. Astroparticle Physics, 2017, 95: 6-24.

9 常进, 范一中. 悟空号：暗物质粒子的探索者. 科学, 2018, 70(3): 18-20.

Chang J, Fan Y Z. Dark matter particle explorer (DAMPE). Science, 2018, 70(3): 18-20. (in Chinese)

10 许鑫. 依托大科学设施群推进国际科技合作. 科学发展, 2019, (7): 5-14.

Xu X. Promoting international scientific and technological cooperation relying on large scientific facilities. Scientific Development, 2019, (7): 5-14. (in Chinese)

11 康琦, 胡文瑞. 微重力科学实验卫星——“实践十号”. 中国科学院院刊, 2016, 31(5): 574-580.

Kang Q, Hu W R. Microgravity experimental satellite—SJ-10. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(5): 574-580. (in Chinese)

12 孙秋霞. 实践十号：向空间强国迈进. 中国科技奖励, 2016, (5): 10-12.

Sun Q X. SJ-10: Towards a great country in space. China Awards for Science and Technology, 2016, (5): 10-12. (in Chinese)

13 张志会, 马连轶. “墨子号”量子科学实验卫星大科学工程的历史与管理模式探究. 中国科技论坛, 2018, (11): 1-8.

Zhang Z H, Ma L Y. The management mode on how Chinese large science projects transiting from tracking class to leading class in the world: Taking quantum satellite project as an example. Forum on Science and Technology in China, 2018, (11): 1-8. (in Chinese)

14 Xu P, Ma Y Q, Ren J G, et al. Satellite testing of a gravitationally induced quantum decoherence model. Science, 2019, 366: 132-135.

15 张晓. 潘建伟与第一颗量子卫星. 国际人才交流, 2017, (1): 20-21.

Zhang X. Pan Jianwei and the first quantum satellite.

International Talent, 2017, (1): 20-21. (in Chinese)

16 卢方军. “慧眼”硬X射线调制望远镜的探测技术和科学运行. 国际太空, 2017, (6): 7-13.

Lu F J. Exploration technologies and scientific operation of hard X-ray modulation telescope. Space International, 2017, (6): 7-13. (in Chinese)

17 卢方军, 张双南. 硬X射线调制望远镜——中国第一颗X射线天文卫星. 物理, 2017, 46(6): 341-347.

Lu F J, Zhang S N. The Hard X-ray Modulation Telescope: China’s first X-ray astronomical satellite. Physics, 2017, 46(6): 341-347. (in Chinese)

18 Abbott B P, Abbott R, Abbott T D, et.al. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger. The Astrophysical Journal Letters, 848: L12.

19 王赤, 李自杰, 孙天然, 等. “太阳风-磁层相互作用全景成像”卫星任务概况. 国际太空, 2017, (8): 13-16.

Wang C, Li Z J, Sun T R, et al. Overview of the mission of Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer (SMILE). Space International, 2017, (8): 13-16. (in Chinese)

20 地球空间“微笑”计划正式启动工程研制. [2019-02-23]. http://www.cas.cn/yx/201903/t20190322_4686218.shtml.

The engineering development is officially launched for the Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer (SMILE). [2019-02-23]. http://www.cas.cn/yx/201903/t20190322_4686218.shtml. (in Chinese)

21 唐琳. 深化国际合作 实现空间共赢. 科学新闻, 2015, (18): 51-55.

Tang L. Deepen international cooperation and achieve win-win results in space. Science News, 2015, (18): 51-55. (in Chinese)

22 唐琳. 深化国际合作 携手探索宇宙. 科学新闻, 2018, (9): 85-90.

Tang L. Deepen international cooperation and jointly explore the universe. Science News, 2018, (9): 85-90. (in Chinese)

23 ISSI-BJ. ISSI-BJ Mission statement. [2013-01-23]. http://www.issibj.ac.cn/About_us/Mission/ 201301/t20130123_98464.html.

24 《中国科学院院刊》编辑部. 中国空间科学在世界空间研究中的地位——欧空局前副局长Roger-Maurice Bonnet专访. 中国科学院院刊, 2015, 30(6): 751-759.

Editorial Board of *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*. The position of China's space science in world space research: An interview with Roger-Maurice Bonnet, former director of science at the European Space Agency. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2015, 30(6): 751-759. (in Chinese)

25 李超, 韦飞. 中国空间科学任务有效载荷的管理. 科技导报, 2020, 38(15): 37-44.

Li C, Wei F. Practice and analysis of payload management for space science missions in China. Science & Technology Review, 2020, 38(15): 37-44. (in Chinese)

26 吴季. 科技卫星引领原创突破. 光明日报, 2016-06-17(10).

Wu J. Scientific satellites lead original breakthroughs. Guangming Daily, 2016-06-17(10). (in Chinese)

27 李超, 郑耀昕. 我国空间科学任务“四个科学”特点及管理实践——以中国科学院空间科学战略性先导科技专项为例. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 763-770.

Li C, Zheng Y X. “4S” characteristics and management practice of space science mission in China—Case study on strategic priority research program on space science of the Chinese Academy of Sciences. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 763-770. (in Chinese)

28 郭宝柱. 中国航天发展的里程碑——《中国的航天》白皮书. 中国航天, 2007, (5): 3-6.

Guo B Z. A milestone in China’s aerospace development: A white paper on China’s Space Program. Aerospace China, 2007, (5): 3-6. (in Chinese)

29 刘禹希. 美国对华航空航天技术出口管制政策体系研究. 合肥: 中国科学技术大学, 2019.

Liu Y X. Research on America export control policy system of

aerospace technology to China. Hefei: University of Science and Technology of China, 2019.

30 何奇松. 中国太空崛起与中美太空关系. 美国问题研究, 2016, (2): 37-57.

He Q S. The rise of China's space and Sino-U.S. relation in space. Fudan American Review, 2016, (2): 37-57. (in Chinese)

31 倪思洁. “夸父”追日 梦圆何时 “夸父计划”启动10年仍“暂缓执行”. 中国科学报, 2014-10-23(01).

Ni S J. Launched for 10 years, Kuafu Mission is still suspended. China Science Daily, 2014-10-23(01). (in Chinese)

32 中国科学院空间科学战略性先导科技专项研究团队. 空间科学战略性先导科技专项引领中国空间科学发展. 国际太空, 2015, (1): 13-21.

Special research team of Strategic Pilot Projects, Chinese Academy of Sciences. Strategic pilot projects in space science lead the development of Chinese space science and technology. Space International, 2015, (1): 13-21. (in Chinese)

33 王帅, 刘思萌. 俄德联合X射线天文观测任务研究. 国际太空, 2019, (8): 37-41.

Wang S, Liu S M. Spektr-RG: A Russian-German observatory-class mission. Space International, 2019, (8): 37-41. (in Chinese)